

連結碳流動的變化與海洋

本 小節一開始，請學生閱讀並討論海洋酸化的文章。他們將在文章裡發現：大氣的二氧化碳濃度增高，海洋的二氧化碳濃度也隨之上升，因而改變海水的化學狀態，嚴重影響有殼的海洋動物，連帶影響生態系統所有相關生物。本小節也是讓學生探索以及針對互動碳循環圖提問的最後一次機會，他們描述幾個意義重大的碳流動並解釋人類工業如何影響碳循環，藉此寫下修正後的想法。在這裡學生的學習將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 不單是大氣的碳增加，海洋的碳也增加了。這樣會對許多海洋生物造成傷害

學生們也將學到：

- 越來越多的二氧化碳進入大氣，海水因此變得更酸，這就是海洋的「酸化」（acidiation）
- 因為愈來愈酸的海水讓動物的外殼或骨骼成長不易，因此許多動物受到影響
- 包含有殼動物的食物鏈，受到海洋酸化的影響

連結碳流動的變化與海洋	預計時間
主動閱讀海洋酸化的文章	15 分鐘
理解海洋酸化	10 分鐘
寫下修正後想法	20 分鐘
總計	45 分鐘

單元目標

科學內容

- 碳循環

科學應用

- 從證據提出解釋
- 解釋並創造圖表

科學本質

- 科學解釋根基於證據
- 在蒐集新的證據方面，科技扮演重要角色

科學語言

- 利用科學字彙
- 參加以證據為基礎的討論

你要準備以下項目

總結性評量 放置於影印包中，請在單元上課後為學生施測。當作是前測，做為學生已知與未知的基準。單元實施後再行施測，這時就是後測，做為學生對於該單元的學習成效。評分標準請見本系列介紹的第 81 頁。

全班需求

- 投影設備 *
- 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
- 2-9 小節的 3 張投影片
- 模擬：互動碳循環圖
- 影集：戀愛中的碳——第四集
- （選擇利用）影印包

每位學生需求

- 碳循環圖（用於 2-7 小節剛開始的時候）
- 調查筆記本：p.2-4; 26-28; （選擇利用） p.25(每日書面反思), 29
- （選擇利用）影印包：寫作工具：修正後想法、書寫修正後想法的組織圖、第二單元評量答案學習單、第二單元評量

* 不包含於教材

準備上課

上課前一天的準備工作

- 1. 架設好投影設備或視聽設備：**架設完成並且進行測試，確保學生上課時能夠看到投影的資料。花幾分鐘檢視需要的教具以及補充資源，請參考 mare.lawrencehallofscience.org/oss68 或是資源光碟。
- 2. 播放並檢視影集：**戀愛中的碳（3 分鐘 50 秒）。先從資源光碟（紙本版本）找出並先檢視，或者線上搜尋（NPR）。
- 3. 預先檢視文章：**請教師先閱讀筆記本第 26-27 頁的文章。
- 4. （選擇利用）準備學習單：**如果教師想要提供學生以下寫作框架，當作是最後的寫作提示，或是計畫實施本單元後測，請影印以下學習單——
 - _ 寫作工具：修正後想法（每個學生一份）
 - _ 書寫修正後想法的組織圖（每個學生一份）
 - _ 單元二：評量答案卡（每個學生一份）
 - _ 單元二評量（每個學生一份）

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本第 26 頁



調查筆記本第 27 頁

連結碳流動的變化與海洋

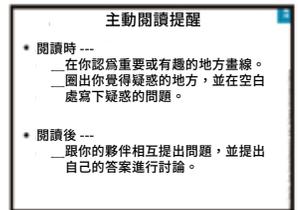
1. 播放小節標題投影片並且介紹閱讀素材

教師提醒學生：他們學過人類工業活動造成額外的二氧化碳，這會進入到大氣。因為有些過量的二氧化碳被海水吸收，也影響了海洋二氧化碳的平衡，這就是閱讀素材的主題。接下來，學生將完成本單元最後的書寫作業。



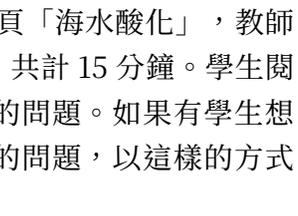
2. 播放投影片；審視主動閱讀

提醒學生如何進行「主動閱讀」(Active Reading)；在主動閱讀的過程中，他們若看到有趣或重要的內容，必須劃線標示，遇到不懂的內容則要圈起來。學生完成閱讀後，將和另一位也讀完的夥伴配對，以互助的方式回答問題。



3. 學生主動閱讀

請學生翻到筆記本第 26-27 頁「海水酸化」，教師告訴他們要閱讀、記錄問題並和夥伴討論，共計 15 分鐘。學生閱讀之際，請教師來回走動並注意他們寫下的問題。如果有學生想不出問題，請教師大聲讀出其他學生提出的問題，以這樣的方式激發想法。



4. 提醒學生兩兩成對討論

學生開始劃重點、圈點以及寫問題之際，提醒他們舉手，看看周圍是否也有舉手的人。請他們安靜移動位置，一起討論問題並找出解答。

教師注意事項

每日書面省思

科學家認為，哪些因素導致大氣中的碳含量增加？科學家用怎樣的證據支持這樣的說法呢？ 這則提示收錄於調查筆記本第 25 頁，因為學生學到不同儲存庫的碳量，以及碳在不同儲存庫的停留時間，應當能夠理解：人類活動為何會改變碳的循環。這樣也能幫助他們理解：大氣二氧化碳增加後，會產生怎樣的效應，關於這個本小節也會討論到。如果教師還想接續上第三單元，調查筆記本有閱讀素材決定大氣中額外二氧化碳的量（Determining the Source of the Atmosphere's Excess CO₂），可選擇性運用。這份閱讀素材描述科學家如何蒐集證據，以測量大氣中增加的碳量。

提供更多經驗

準備：食物網的範例 到了中學階段，大部分學生都學過生物之間複雜的交互依存關係，也就是食物鏈。如果學生還沒接觸到這個概念，教師可能想要花點時間想出動物之間捕食與被捕食的例子，以陸地或海洋的動物為例都可以。教師只要舉出一點這樣的依存關係，學生就能理解閱讀素材中某種生物消失，會影響海洋許多其他生物的道理了。

教學常規

主動閱讀 教師可以提醒學生：科學家以及學習科學到進階程度的學生，都以這裡所謂的「主動閱讀」來閱讀文本。請教師大聲讀出在先前閱讀文章的課程裡，學生寫下的優良提問。如此一來，有助於讓學生在閱讀之際，提出深思熟慮的好問題。

找一個夥伴討論閱讀內容 學生依照自己的步調讀完文章，舉手表示完成閱讀，並且藉機找到另一位也完成閱讀的夥伴。這樣不僅提供機會讓快速完成的學生繼續學習，也讓他們與不同觀念的人互動。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

姓名 _____ 日期 _____

重要概念 (接上頁)

引導問題 3: 碳如何進入海洋?

引導問題 4: 生物死亡後, 體內的碳會怎樣?

引導問題 5: 人類工業如何影響碳循環中的碳流動呢?

調查筆記本第 4 頁

理解海洋酸化

- 1. 學生分享問題、討論問題** 有些關於文章的問題可以透過討論得到解決，請學生分享這些問題；也提醒學生要提出證據。這時教師避免給予肯定的答案，並且鼓勵其他學生評估、支持或提出相反的意見。
- 2. 提出尚未解決的問題** 如有問題仍然懸而未決卻引人入勝，要請學生們盡量提出。教師邀請學生回應對方的問題以及觀點，並提醒學生這樣問對方：「**我們多有把握？**」或是「**我們怎麼樣做會更有把握？**」然後教師表示同意：有些問題需要更進一步的探究，才能找出解答。
- 3. 強調大氣與海洋之間的關聯** 請教師這樣說：「如果碳循環發生了失衡，將導致廣泛的效應。海洋酸化，就是大氣增加的二氧化碳導致海水含碳量升高的例子。到目前為止，碳循環的失衡導致的所有效應，都還是未知。」
- 4. 播放投影片；學生記錄重要概念** 教師播放重要概念的投影片，讓學生讀出來。請學生翻到調查筆記本第 4 頁「重要概念」，並決定重要概念最能回應哪些引導問題。（#3 和 #5）將重要概念抄寫於問題下方的欄位。



教師注意事項

教學方針

酸的學習目標 學生可能對酸或酸鹼值 (pH) 有些許理解，但是在本小節的階段，他們並不需要完全理解酸鹼的概念。學生只需要了解：海水化學成分的變化，會以某些方式傷害海洋生物。

科學註記

關於海洋酸化 海洋從大氣吸收的二氧化碳愈來愈多，本身也變得愈來愈酸，這是因為一種自然現象——溶解於水的二氧化碳，與水分子結合並變成 H_2CO_3 (碳酸)，是一種弱酸。問題是大氣中的二氧化碳含量，因為人類工業的關係而升高，導致海水吸收愈來愈多的二氧化碳，海水的酸性因此超過正常範圍 (若要得到更多資訊，請參考「科學背景」)。

教學建議

理解數字 根據上一個活動的計算結果，有些學生會覺得每年大氣增加 9.4 十億噸的碳，相較於過去 250 年以來，大氣的碳量只多了 228 十億噸；兩相比較，似乎也沒有多許多。(每年 9.4 十億噸，250 年以來就多了 2350 十億噸) 其實根據許多理由，並非如同學生的推論。首先，雖然平均每年多了 9.4 十億噸的碳，但是不是每年皆如此。工業革命的早期，增加的碳量比現在少得多。事實上，因為人類工業活動進入到大氣的碳量，是逐年增加的。其次，進入大氣碳量的大約一半，也會離開大氣，這是因為海洋和陸地植物都需要碳以獲得成長，如此可有效降低碳在大氣的停留時間。

處理尚未解決的問題 本小節或其他章節，針對碳循環的討論當中，學生可能提出困難的問題，甚至老師都無法解決。但這是絕佳的機會，可以讓學生理解：無法當個萬事通也無大礙；有些科學的問題需要更多的研究。請教師這樣問學生：「**我們如何一起找到解答？**」教師指出：科學家會主動執行碳循環的研究，並且找出人類活動如何影響地球。

延伸：線上影集 酸性測試 (3 分鐘 16 秒)，是值得推薦的資源，可以用來強化小節的概念。(mare.lawrencehallofscience.org/oss68)

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO_2
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

教師注意事項

英文學習者

寫作鷹框架 根據英文學習者的英語能力，他們有可能因為寫作能力而苦苦掙扎，教師可以提供影印包中的「寫作工具：修正後想法的第一部分」。本頁的上半部，是生字庫；下半部則提供句型架構讓學生取用。有些英文學習者可能只需要生字庫，這時就可以把本頁剪半，只提供上半頁即可。只有基礎英語能力或寫作能力有困難的英文學習者，則上下半頁都有幫助。諸如此類的寫作框架，讓英文學習者聚焦於他們想要表達的科學內容，而非把焦點放在拼字、背誦單字或理解句子的結構。

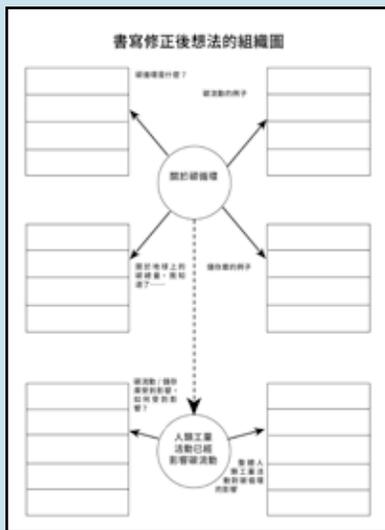
教學常規

課前想法 / 修正後想法 在課程期間，讓學生清楚明確地修正想法，讓他們對於理解如何成長與改變，更能有效掌握。這樣的知覺，有助於維繫新知並且有意識地修正起始想法，讓學生與科學理解更為貼近。這樣一來，教師也得到評估學生學習的重要工具。

提供更多經驗

準備：書寫修正後想法的組織圖

學生在寫作之前，若能組織想法，將有所獲益。如果教師有額外時間，請提供每位學生一份從影印包取得的「書寫修正後想法的組織圖」，讓他們在空白處記下想法，計畫後續的寫作內容。



(選擇利用) 學生學習單

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



(選擇利用)

調查筆記本第 29 頁

5. 總結碳循環的學習 教師告訴學生，這是本單元最後的小節。現在學生藉著碳循環的調查，對於大氣、海洋以及地球上生物之間的關係，理解的程度已經超過許多成人。

6. 預習第三單元「氣候變遷」 教師讓學生了解：理解碳循環，是理解氣候變遷重要與複雜議題的關鍵。如果教師計畫繼續介紹第三單元「氣候變遷」，請告訴學生：他們將在本單元發現科學家的研究成果，這些成果關乎碳循環失衡，而這樣的失衡影響著海洋與大氣。到時學生也會了解，人們採取了怎樣的行動以解決問題。

7. 播放影集 播放戀愛中的碳（3 分鐘 50 秒）影集，以連結碳循環的概念以及氣候變遷。

教師注意事項

評量

嵌入式評量：修正後想法，碳流動以及人類工業 請教師批閱學生在調查筆記本第 28 頁的回應，藉此評估他們對於碳循環以及人類工業對碳循環影響的理解程度。學生應該描述這 4 項碳流動：呼吸作用、光合作用、海水吸收二氧化碳，以及分解作用、化石燃料形成與燃燒。他們也應當能夠描述：人類工業燃燒的化石燃料，如何把碳從地底儲存庫移到大氣與海洋。教師可以運用「課前想法 / 修正後想法」的評分標準（收錄於介紹手冊第 58 頁的評量部分），評斷學生的反應與碳循環課程目標的對應程度。

提供更多經驗

強化：增加碳循環圖內容並且展示碳循環圖 教師可以讓學生把人類工業的資訊，增加到自己的碳循環圖。教師把已完成的碳循環圖張貼於教室，當作是本單元的概念展示。如果教師要繼續介紹第三單元，這會是對學習特別有助益的參考資料。如果不作展示，學生的調查筆記本有一頁空間，可以張貼碳循環圖。

延伸：反思小節的提示

- 汽車燃燒汽油，最終如何傷害海洋裡的生物？
- 如果你有錢、設備和時間，如何設計科學調查，發掘海洋酸化正在危害某種特定的海洋生物？

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？